非等温系反応吸収における吸収速度

稲 積 彦 二・川 崎 順 二 郎
鈴 木 孝 典・丸 山 力*

東京工業大学工学部 化学工学科†

非等温系の(1,1)次反応を伴うガス吸収において、気相と液相間の顕熱移動、溶媒の蒸発、液相での溶解熱、反応熱などに起因する温度分布および反応生成物の生成によるイオン強度の変化を考慮すべき場合について、浸透モデルに基づいた吸収速度の数値解法を提示した。

また濡れ壁塔を用いて、界面活性剤を添加したカ性ソーダ水溶液の流下液膜への炭酸ガスの反応吸収実験を行い、異なる接触時間に対する平均吸収速度を求め、前述の方法による数値解および等温系とした場合の数値解と比較した。その結果より本報の数値解の値が実験値とよく一致することを確認した。

緒 言

反応を伴うガス吸収操作の非等温的取り扱いに関する既往の研究のほとんどは温度分布を拡散方向についてだけ考慮されたもの^{1-6,9-11,13)}であり、反応様式としては1次反応、擬1次反応を扱ったもの^{1,3-6,10,11)}が大部分で、少数の瞬間反応を扱ったもの^{2,9)}があるだけである。また諸物性値の温度依存性に対する取り扱いについては、界面における溶解度だけを考慮したもの^{4,6,11)}、その他に反応速度定数について考慮したもの^{1,3,10)}、さらに拡散係数について考慮したもの^{5,13)}などに分類される。

これらの研究における実験的検討はほとんど液柱塔を用いて行われており、気-液接触時間が非常に短い。

本研究においては反応様式として(1,1)次反応の場合**を取り上げ、溶解熱や反応熱の発生その他の原因によって生じる温度分布を拡散方向と流れ方向について考慮し、諸物性については、その温度依存性を考慮するとともに反応生成物によるイオン強度の分布に配慮し、吸収液中の反応成分の濃度および接触時間の広範囲にわたって適用できる吸収速度の推算法を提示するとともに、濡れ壁塔を用いてNaOH水溶液の層流液膜によるCO₂の吸収実験を行い、その妥当性を検討した。

なおまた、この場合に気相における顕熱移動および物質移動の抵抗が無視できず、吸収液の温度が上昇して溶媒の蒸発も無視できない場合には、これらの条件を気-液界面の条件に組み込んで扱う必要がある、この場合の計算法について言及した。

1. 基礎的考察

NaOH水溶液の層流流下液膜によるCO₂の吸収を、非等温的に取り扱う際に考慮されるべき因子が主として吸収の進行に伴う物性値の変化にかかわり、その要因が反応生成物および温度変化にあるとみなされる場合について考察する。

1・1 吸収機構

本研究で取り扱う系の総括反応式は次式で表される。

ここで Eq. (1) の反応は次に示す2段階反応である。

と表すと、Eq. (2) の反応速度は(1,1)次反応であり、A成分の総括の消費速度は次式で表される。

$$-\partial C_A / \partial \theta = k C_A C_B \quad (4)$$

ここで

$$C_A = [\text{CO}_2], \quad C_B = [\text{OH}^-] \quad \text{である。}$$

1・2 物質移動と熱移動の基礎式

気-液界面に対して法線方向の気、液両相および界面近傍の濃度および温度分布が Fig. 1 のようになる場合を考え、また次のような仮定をおく。

1) 液相内での拡散は浸透モデルに従い、吸収速度は拡散速度と反応速度によって支配され、対流項を無視できる。

2) 流下液と壁面間の伝熱を無視できる。

3) F成分(Na⁺)の濃度C_Fは他の成分の拡散によって影響されず、液相内全域で一定とする。

4) E成分(CO₃²⁻)はA, B成分の反応によって生じるので、その濃度は次式で表される。

$$C_E = (C_{B0} - C_B) / 2 \quad (0 \leq C_E \leq C_{B0} / 2) \quad (5)$$

† 〒152 目黒区大岡山 2-12-1

* 三菱石油(株)

** 代表例としてCO₂のNaOH水溶液による吸収を選んだ。

Fig. 1 Model of concentration and temperature profiles

5) A成分の存在する反応領域内の温度は界面温度 t_i に等しい*。

6) ガス側においては溶媒の蒸発、顕熱移動、溶質ガスの移動などによって境界内に溶媒蒸気と溶質ガスの濃度および温度の分布が存在する。

以上の仮定のもとで物質収支および熱収支より基礎式を液側とガス側について示す。

液側 液相内における拡散および伝熱の基礎方程式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial C_A}{\partial \theta} = D_A(t) \frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} - k(I, t) C_A C_B \quad (6)$$

$$\frac{\partial C_B}{\partial \theta} = D_B(t) \frac{\partial^2 C_B}{\partial x^2} - \nu k(I, t) C_A C_B \quad (7)$$

$$\frac{\partial t}{\partial \theta} = \kappa(t) \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\Delta H_R}{C_L \rho} k(I, t) C_A C_B \quad (8)$$

ここで Eq. (8) において $100D(t) \approx \kappa(t)$, $C_{B0} \gg C_{Ai}(t)$ のとき, $x_R \ll \delta$ であれば次式のように近似できる。

$$\frac{\partial t}{\partial \theta} = \kappa(t) \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \quad (9)$$

I. C. および B. C. は次式

$$0 \leq x \leq \delta, \quad \theta = 0: C_A = 0, \quad C_B = C_{B0}, \quad t = t_{L0} \quad (10)$$

$$x = 0, \quad \theta > 0: C_A = C_{Ai}(I_i, t_i) \quad (11)$$

$$x = \delta, \quad \theta > 0: \partial C_B / \partial x = 0, \quad \partial t / \partial x = 0 \quad (12)$$

$$0 \leq x \leq x_R, \quad \theta > 0: t = t_i \quad (13)$$

ガス側 ガス側における顕熱、溶質ガスおよび溶媒蒸気の移動速度式は次の諸式によって表される。

顕熱移動速度については

$$q_{GS} = h_G(t_G - t_i) \quad (14)$$

溶媒の蒸発速度については

$$N_W = k_{GW}(p_{Wi} - p_{WG}) \quad (15)**$$

溶質ガス (A成分) の移動速度については

$$N_A = k_{GA}(p_{AG} - p_{Ai}) \quad (16)**$$

気液間の熱収支 溶質ガスの吸収によって液相内で発生する溶解熱、反応熱および気液間のエンタルピー移動による液相中での全熱流束は次式で表される。

$$q_{Li} = q_L + q_G \quad (17)$$

液相で発生する熱量は

$$q_L = (\Delta H_R + \Delta H_S) N_A \quad (18)$$

気相本体から気-液界面へ流入する熱量は

$$q_G = q_{GS} - (\lambda_W + C_{pW}(t_G - t_i)) N_W + C_{pA}(t_G - t_i) N_A \quad (19)$$

気-液界面における熱収支は

$$q_G = (LC_L/a)(dt_L/dz) - q_L = h_L(t_i - t_L) - q_L \quad (20-a)$$

上式は Eqs. (14)~(19) の関係を用いると次式のようにになる。

$$h_L(t_i - t_L) = h_G(t_G - t_i) + k_{GA}(p_{AG} - p_{Ai})(C_{pA}(t_G - t_i) + (\Delta H_R + \Delta H_S)) - k_{GW}(p_{Wi} - p_{WG})(C_{pW}(t_G - t_i) + \lambda_W) \quad (20-b)$$

以上に示した基礎式より N_A と N_B を求められるはずであるが、これらの関係は非線型であるため、解析的に解くことができないので数値解法によらなければならない。

1.3 数値解

物性値 非等温系反応吸収操作において、吸収液中の反応生成物および温度上昇に伴って変化する主な物性値の数値解で用いた推算法は以下に述べるとおりである。

1) 溶解度 NaOH 水溶液に対する CO_2 の溶解度は次式によって算出した。

$$\log_{10}(C_{Ai}/C_{Ai,W}) = -hI_i \quad (21)***$$

ここで塩類効果係数 h は次式で表され、

$$h = h_+ + h_- + h_0 \quad (22)$$

上式の右辺における各項の値としては Danckwerts の著書⁷⁾中の値を用い、 h_- は B および E 成分を含んだ値である。

また Eq. (21) 中のイオン強度 I_i は次式によって求めた。

$$I_i = (C_{F0} \times 1^2 + C_{Ei} \times 2^2 + C_{Bi} \times 1^2) / 2 = (3C_{B0} - C_{Bi}) / 2 \quad (23)$$

すなわち、溶解度の推算においては、塩類効果に反応生成物の影響を含め、またイオン強度には界面における B 成分の濃度を用いて求め、界面温度 t_i に基づいた界面濃度 C_{Ai} を推算した。

2) 反応速度定数 イオン強度は濃度分布を考慮して局所値として求め、Pinsent ら¹²⁾の実験値を整理した実験式を用いて液相内の反応速度定数 k を温度分布に基づいて補正して求めた。

3) 拡散係数 多成分電解質水溶液中におけるイオン拡散に関する Vinograd-McBain¹³⁾の式を用いて求め

* x_R/δ の値は最大でも 0.01 程度であるので、 $0 \leq x \leq x_R$ において $t(x)$ を t_i に等しいとみなしうる。

** N_A と N_W との差が特に大きい時には 3 成分系としての取り扱いが必要である。

*** CO_2 の水に対する飽和溶解度 $C_{Ai,W}$ およびその温度との関係は ["Lange's Handbook of Chemistry", 11th ed. McGraw-Hill (1973)] の値を関数近似して用いた。

Fig. 2 Flow-chart for design calculations of a diabatic chemical absorber (* sign for the case when the effect of gas phase conditions is considerable)

た。なお D_A は $0 \leq x \leq x_R$ の平均温度、 D_B は $0 \leq x \leq \delta$ の平均温度に基づいて Stokes-Einstein の式によって温度および粘度の補正をした。

4) その他各濃度での NaOH 水溶液の粘度、密度、比熱を液膜の平均温度に対して求め、さらに温度拡散係数 κ の計算に用いた。なお反応熱、溶解熱の値としては $\Delta H_R = 2.22 \times 10^4 \text{ kcal/kg-mol}$ 、 $\Delta H_S = 4.76 \times 10^8 \text{ kcal/kg-mol}$ を採用した。

数値解法 前述の基礎式に基づいてコンピュータ・プログラムを作製すると、この反応吸収操作のプログラム・フローチャートは Fig. 2 になり、計算の手順は本図に基づいて行えばよいので省略する。ただし h_G 、 h_L 、 k_{GA} 、 k_{GW} の推算値は前もって実験式から求めることができ、 p_{AG0} は塔底の p_{AG1} と共に既知とする。

数値解析の結果 NaOH 水溶液による CO_2 の非等温系反応吸収においては、これを特徴づけるものは液側における吸収機構であるので、本研究では実験的検証の手法を簡単にするために、ガス側における物質移動抵抗、伝熱および水の蒸発を無視できる場合、すなわち Eqs. (14)~(16), (19) を考慮しない場合について、上述の方法に基づいて行った数値解析の結果を、この条件下で行った実験結果と比較することにした。

まず本数値解法の妥当性を確かめる目的で、塔頂での

Fig. 3 Change of physical properties in numerical solution ($C_{B0} = 1.6 \text{ N}$)

吸収液温度 t_{L0} における反応成分の濃度 C_{B0} に平衡な C_{Ai} 、拡散係数 D_A 、 D_B さらに μ_L 、 ρ_L などの値が気-液接触部全域にわたって一定であると仮定して、Eqs. (6), (7) の反応項を無視した瞬間反応の場合および (1, 1) 次反応の場合の等温系に対する数値計算を行った結果、図は省略したが Sherwood ら¹⁴⁾ の解や正田ら⁸⁾ の解による吸収速度の計算値と本数値解とはそれぞれおおむね一致し、本数値解法が妥当であることがわかった。

次に非等温系でかつ物性値が変化する場合についての数値解析を行い、諸物性値の変化の傾向を検討した。一例として 1.6N の NaOH 水溶液の場合の諸物性値の変化を Fig. 3 に示した。本図から明らかなように接触時間 θ の増加とともに初期値とはかなり変化するので、NaOH 水溶液が高濃度になると、等温系かつ物性値を一定とみなすことは適切でないと考えられる。また吸収速度の計算結果は Figs. 7~9 の図中に実験値とともに示した。

2. 実験装置および実験方法

使用した実験装置の概略を Fig. 4 に示した。

吸収装置本体⑥は濡れ壁部が外径 10mmφ、最長約 2 m のステンレス製円管の外側濡れ壁塔であり、その詳細図を Fig. 5 に示した。

CO_2 ガスはポンプ①より供給して所定のガス流量に調整し、ガスヒーター④で設定温度に加熱して、⑤で水蒸気で飽和した後、本体⑥に導入した。流下液膜と接触させた塔頂からの排出ガスは循環使用し、過剰の CO_2

① CO ₂ cylinder	⑨ Gas outlet
② Gas pump	⑩ Rotameter
③ Orifice meter	⑪ Head tank
④ Gas heater	⑫ Liquid pump
⑤ Saturator	⑬ Liquid heater
⑥ Absorber	⑭ Feed tank
⑦ Level controller	⑰ Thermometer
⑧ Sampler	

Fig. 4 flow sheet of experimental apparatus

Fig. 5 Detail sketch of wetted-wall column

ガスは⑨より排出した。

NaOH 水溶液はアンダータンク⑭で液ヒーター⑬によって設定温度に加熱した後、ヘッドタンク⑪を経て濡れ壁塔の上部へ供給し、ガスと接触させた後、レベルコントローラー⑦を経て排出した。なお流下液膜の波立ちを防ぐために、0.05 vol% の界面活性剤 (スコアロール 100) を NaOH 水溶液に添加した。

また、ガス温度は塔内の数個所、液温度は入口および

* 同一装置で 1 ~ 25 cm の気-液接触高さについて行った物理吸収における吸収速度の実験値と浸透モデルによる計算値を比較した結果、接触高さが約 4 cm 以上では端効果を見逃しうることを確認したので、以後の反応吸収実験では気-液接触高さ 55 mm 以上で行った。

Fig. 6 Heat balance

出口の 2 個所において熱電対によって測定した。

NaOH 水溶液への CO₂ の吸収量は、塔底のサンプラー⑧より試料を一定量採取し、Winkler 法によって分析し、入口および出口における濃度の分析値より求めた。

なお本実験の操作条件の範囲は、Table 1 に示すとおりである。

3. 実験結果および考察

3.1 実験結果の整理法

平均吸収速度は次式によって算出した。

$$\bar{N}_A = dC_A V_L / \pi (d_i + 2\delta) z \quad (24)$$

液膜表面速度 u_s は、液の入口および出口の温度、濃度の平均値に基づく物性値を用いて次式によって求めた。

$$u_s = (\rho g / 2\mu) (3\mu V_L / \rho g \pi d_i)^{2/3} \quad (25)$$

気-液接触時間 θ は次式

$$\theta = z / u_s \quad (26)$$

液膜厚み δ は次式によって求めた。

$$\delta = (3\mu V_L / \rho g \pi d_i)^{1/3} \quad (27)$$

また反応吸収によって発生する熱が液膜内のみの温度上昇に寄与するとみなした場合の、液本体の入口と出口の温度差の予測値は次式で求めた。

$$\begin{aligned} \Delta t_{L,calc.} &= \pi (d_i + 2\delta) z \bar{N}_A (\Delta H_S + \Delta H_R) / (V_L C_L \rho) \\ &= \Delta C_A (\Delta H_S + \Delta H_R) / C_L \rho \end{aligned} \quad (28)$$

3.2 実験結果

予備実験 まず予備実験として CO₂ の水への等温系物理吸収実験を Table 1 に示す操作条件で行い、実験で得られた平均吸収速度 $\bar{N}_A$ と接触時間 θ との関係を確かめた結果、浸透理論による計算値と ±5% 以内で一致した*。

次に水の蒸発、気-液間の顕熱移動および濡れ壁部分

Table 1 Ranges of operating conditions

System	t_{L0} [°C]	C_{B0} [N]	θ [sec]	Re_G [—]	Re_L [—]
CO ₂ -H ₂ O	30±0.5	—	0.07-0.5	180-250	500-800
	20±0.5	—	0.7-3.5	180-250	550-850
CO ₂ -NaOHsol.	30±0.5	0.1-1.6	0.07-0.5	180-250	300-800
	20±0.5	0.05-1.6	0.7-3.5	180-250	350-850
surface active agent 0.05 vol%		$z=0.055\sim 2.00$ m

Fig. 7 Comparison of experimental values with numerical solutions resulted by the authors and ones resulted by other workers ($C_{B0} \leq 0.2$ N, $t_{L0} = 30^\circ\text{C}$) Fig. 8 Comparison of experimental values with numerical solutions resulted by the authors and ones resulted by other workers ($C_{B0} \geq 0.4$ N, $t_{L0} = 30^\circ\text{C}$)

の流れ方向の伝導などによる熱損失を無視できるかどうかを検討するために反応吸収実験を行い、横軸に液の入口と出口の温度差 $\Delta t_{L,obs.}$ を取り、縦軸に Eq. (28) に示す全吸収量より推算した発熱による温度上昇 $\Delta t_{L,calc.}$ を取ったものが Fig. 6 である。本図から明らかなように $\pm 10\%$ 以内の誤差で両者は一致しており、本実験の範囲では発生熱が液膜内のみ影響を及ぼし、気相および濡れ壁部の伝導などの熱損失を無視できる程度であることがわかった。

以下において前述の数値解法による結果を、0.2N 以下の低濃度の NaOH 水溶液による CO₂ の吸収の場合と 0.4N 以上の高濃度のその場合における実験値との比較を試みた。

Fig. 9 Comparison of experimental values with numerical solutions resulted by the authors and ones resulted by the other workers ($C_{B0} \leq 0.4$ N, $t_{L0} = 20^\circ\text{C}$)

低濃度 NaOH 水溶液による CO₂ の吸収 $t_{L0} = 30^\circ\text{C}$ の場合の 0.1N および 0.2N の NaOH 水溶液による CO₂ の吸収実験結果から求めた平均吸収速度 $\bar{N}_A$ と接触時間 θ との関係ならびに前述の方法による数値解、Sherwood ら¹⁴⁾ の瞬間反応とした場合の解析解、疋田ら⁸⁾ の近似解析解による計算値を Fig. 7 に示した。低濃度の NaOH 水溶液の場合には、CO₂ の吸収量が少ないので、 I , C_{Ai} , κ はほとんど変化せず発熱量も少ないので、実験値は数値解だけでなく、等温系かつ物性値を一定とした疋田らの解による計算値ともよく一致し、接触時間 θ が長くなれば Sherwood らの解による計算値とも一致する傾向にある。

高濃度 NaOH 水溶液による CO₂ の吸収 NaOH 水溶液の入口が高濃度 (0.4~1.6N) の場合の実験結果を Figs. 8 および 9 に示した。

Fig. 8 は液の入口温度 t_{L0} が 30°C で、接触時間 θ の短い範囲の場合であり、図中の曲線は前述の方法による数値解、Sherwood ら¹⁴⁾ および疋田ら⁸⁾ の解による計算値を示す。Sherwood らおよび疋田らの解による計算値を実験値と比べると、Fig. 7 の低濃度 NaOH 水溶液の場合よりもさらに偏倚は大きく、1.6N の場合には

その傾向が著しいが、本報の数値解は実験値とおおむね一致している。

次に Fig. 9 は t_{L0} が 20°C で、かつ θ が長い場合の例であり、図中に本報による数値解、疋田らの解による計算値に加えて、本計算法で液入口温度基準の等温的取り扱いによった場合*の数値解もあわせて示した。本図でも前図と同様に本報の数値解は他のいずれの方法による予測値よりも実験値とよく一致している。0.4N の比較的低濃度の NaOH 水溶液の場合には各予測値共にその差は小さいが、1.6 N の高濃度になると、等温的取り扱いの数値解と実験値との差は大きくなり、等温的に取り扱うと吸収速度を過剰に見積もることを示している。また高濃度になるほど、疋田らの解による計算値は非等温的取り扱いによる数値解よりも大きくなるが、等温的取り扱いで物性値の変化を考慮した数値解に近づく傾向にある。この傾向は物性値の変化が吸収速度と互いに相殺し合うためと考えられる。

結 言

液相で発熱を伴う非等温系の反応吸収操作における吸収速度の推算法を検討して、その数値解法を導出し、その結果を低濃度から高濃度にわたる NaOH 水溶液による CO_2 の吸収操作の実験値および既往の研究結果と比較し、次の結論を得た。

1) 低濃度 (0.1~0.2 N) の NaOH 水溶液による CO_2 の吸収速度は、等温系かつ物性値を一定とした瞬間反応に対する Sherwood らの解析解および (1, 1) 次反応に対する疋田らの近似解によっておおむね推算できる。

2) 高濃度 (0.4~1.6 N) の NaOH 水溶液による CO_2 の吸収実験の結果は既往の研究の解析解による計算値とは一致せず、この場合には温度変化による諸物性値の変化の他に、反応生成物による物性値の変化を考慮した本報告で提示した数値解法によっておおむね推算できる。

なお、本報告で提示した数値解法は、濡れ壁塔を用いてその適用性を検討したのであるが、ガス側での伝熱および物質移動を考慮すべき場合、および気、液相に乱れを伴う場合に対しても取り扱いの基礎になるものと考えられる。

Nomenclature

a	= area of interphase contact	$[\text{m}^2/\text{m}^3]$
C	= concentration in liquid phase	
		$[\text{kg}\cdot\text{mol}/\text{m}^3]$
C_L	= specific heat of liquid	$[\text{kcal}/\text{kg}\cdot\text{mol}\cdot^{\circ}\text{C}]$

* 等温的取り扱いにおける吸収の進行に伴う計算は、塔頂での吸収液温度 t_{L0} に基づき、かつ反応吸収の進行に伴って液の流れ方向における吸収液組成の変化に起因する物性値 ($I, k, C_{Ai}, C_{Bi}, C_B$ など) の変化を考慮したものである。

C_p	= specific heat of gas	$[\text{kcal}/\text{kg}\cdot\text{mol}\cdot^{\circ}\text{C}]$
D	= diffusion coefficient	$[\text{m}^2/\text{s}]$
d_i	= diameter of wetted-wall column	$[\text{m}]$
g	= acceleration due to gravity	$[\text{m}/\text{s}^2]$
ΔH_R	= heat of reaction	$[\text{kcal}/\text{kg}\cdot\text{mol}]$
ΔH_S	= heat of solution	$[\text{kcal}/\text{kg}\cdot\text{mol}]$
h_0	= solubility factor	$[\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{mol}]$
h	= individual coefficient of heat transfer	$[\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{s}\cdot^{\circ}\text{C}]$
I	= ionic strength	$[\text{kg}\cdot\text{mol}/\text{m}^3]$
k	= second order reaction rate constant	$[\text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{mol}\cdot\text{s}]$
k_G	= mass transfer coefficient for gas phase	$[\text{kg}\cdot\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}\cdot\text{atm}]$
L	= superficial molal mass velocity of liquid	$[\text{kg}\cdot\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}]$
N	= mass flux	$[\text{kg}\cdot\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}]$
p	= partial pressure	$[\text{atm}]$
q	= heat flux	$[\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{s}]$
Re_L	= Reynolds number	$[-]$
t	= temperature	$^{\circ}\text{C}$
u_s	= liquid surface velocity	$[\text{m}/\text{s}]$
V_L	= liquid flow rate	$[\text{m}^3/\text{s}]$
x	= distance from gas-liquid interphase	$[\text{m}]$
z	= column height measured from top	$[\text{m}]$
δ	= thickness of falling liquid film	$[\text{m}]$
θ	= gas-liquid contact time	$[\text{s}]$
κ	= thermal diffusivity	$[\text{m}^2/\text{s}]$
λ	= thermal conductivity of liquid	$[\text{kcal}/\text{m}\cdot\text{s}\cdot^{\circ}\text{C}]$
μ	= viscosity	$[\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}]$
ν	= stoichiometric coefficient	$[-]$
ρ	= density	$[\text{kg}/\text{m}^3]$
<Subscripts>		
$A, B, E, F = \text{CO}_2, \text{OH}^-, \text{CO}_3^{2-}, \text{Na}^+$, respectively		
G	= gas phase	
i	= gas-liquid interphase	
L	= liquid phase	
R	= reaction plane	
W	= water	
0, 1	= top and bottom of column, respectively	
<Superscript>		
—	= time-averaged value	

Literature cited

- 1) Carberry, J. J.: *Chem. Eng. Sci.*, **21**, 951 (1966)
- 2) Chiang, S. H. and H. L. Toor: *AIChE J.*, **10**, 398 (1964)
- 3) Clegg, G. T. and R. Mann: *Chem. Eng. Sci.*, **24**, 321 (1969)
- 4) Clegg, G. T. and R. B. F. Kilgannon: *ibid.*, **26**, 669 (1971)
- 5) Cook, A. E. and E. Moore: *ibid.*, **27**, 605 (1972)
- 6) Danckwerts, P. V.: *Appl. Sci. Rev.*, **A3**, 385 (1953)
- 7) Danckwerts, P. V.: "Gas-Liquid Reactions", p. 18, McGraw-Hill Co., New York (1970)
- 8) Hikita, H. and S. Asai: *Kagaku Kōgaku*, **27**, 823 (1963)
- 9) Ikemizu, K., S. Morooka, Y. Kato and H. Shinohara: *Kagaku Kōgaku Ronbunshu*, **3**, 277 (1978)
- 10) Kobayashi, T. and K. Saito: *Kagaku Kōgaku*, **29**, 512 (1965)

- 11) Onda, K., E. Sada, T. Kobayashi and M. Odaka: *ibid.*, 33, 886 (1969)
12) Pinsent, B. R. W., L. Pearson and F. L. W. Roughton: *Trans. Farad. Soc.*, 52, 1512 (1956)
13) Shah, Y. T.: *Chem. Eng. Sci.*, 27, 1469, 1893 (1972)
14) Sherwood, T. K. and R. L. Pigford: "Absorption and Extraction", p. 332, McGraw-Hill Co., New York (1952)
15) Vinograd, J. R. and J. W. McBain: *J. Am. Chem. Soc.*, 63, 2008 (1941)
(1981 年 2 月 13 日受理; 化学工学協会北海道大会 (札幌, 1979 年 7 月) にて発表)

Rates of Nonisothermal Gas Absorption Accompanied by Chemical Reaction

Hikoji Inazumi, Junjiro Kawasaki, Takanori Suzuki
and Chikara Maruyama*

Dept. of Chem. Eng., Tokyo Inst. of Tech., Tokyo 152

Some numerical solutions were obtained for the basic nonlinear partial differential equations based on the penetration model for nonisothermal gas absorption accompanied by (1, 1) th-order chemical reaction into laminar falling liquid film without ripples, derived by considering sensible heat transfer between gas and liquid, vaporization of solvent, the release of heat due to solution and reaction and the change of ionic strength.

Experiments were carried out using wetted-wall columns (column height = 5~200 cm) for the absorption of CO₂ into NaOH aq. sol. containing a small amount of surface active agent (0.05 vol %).

It was confirmed that the experimental values of absorption rate agreed with the numerical solutions obtained in this work.

* Mitsubishi Petroleum Co., Ltd.